

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

## ⑫ 公開特許公報(A) 昭60-134219

⑬ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和60年(1985)7月17日

G 02 F 1/31

A-7348-2H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全6頁)

⑮ 発明の名称 光スイッチ

⑯ 特 願 昭58-242049

⑰ 出 願 昭58(1983)12月23日

⑱ 発 明 者 松 村 宏 善 国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑲ 発 明 者 茅 根 直 樹 国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

⑳ 発 明 者 石 田 宏 司 国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内

㉑ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉒ 代 理 人 弁理士 中村 純之助

## 明 細 書

1. 発明の名称 光スイッチ

2. 特許請求の範囲

(1) 化合物半導体基板と、前記基板上に形成され、所定の幅と厚みならびに周囲より高い屈折率をもつ前記基板と同系の化合物半導体の帯状層からなり、かつ鋭角をなす所定の角度で互いに交叉する少なくとも一本ずつの光導波路と、平行四辺形をなす前記光導波路の交叉部の長い方の対角線位置で前記両光導波路を遮断するように形成され、かつバンドギャップが使用する光の波長に近接する少なくとも一つの前記基板と同系の化合物半導体層からなる所定の幅と厚みをもつストライプ層とを備え、前記ストライプ層に電流を印加してその屈折率を変化させて前記ストライプ層部分で前記一方の光導波路内を伝搬してきた前記光を反射又は回折させて前記他方の光導波路に前記光の進路を切り換えるように構成されていることを特徴とする光スイッチ。

(2) 特許請求の範囲第1項記載の光スイッチにおいて、前記光導波路の少なくとも一方が2本以上で構成されている場合、前記2本以上の光導波路は互いに所定の間隔で平行に配列されていることを特徴とする光スイッチ。

(3) 特許請求の範囲第1項又は第2項記載の光スイッチにおいて、前記光スイッチを構成する前記化合物半導体がIII-V族系又はII-VI族系化合物半導体であることを特徴とする光スイッチ。

3. 発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は、光通信システムにおいて光を伝搬する光ファイバ内のおのおのの光信号を他の数本の光ファイバのそれぞれ任意の一本に導くことを可能にした光スイッチに関する。

〔発明の背景〕

従来の光スイッチでは、光伝送媒質の音響光学効果による光の偏光を用いたもの、媒質の電気光学効果による光の偏向を用いたもの、方向性結合器の結合係数を電気光学効果により変えるもの、

方向性結合器と光位相変調器を組み合わせたものなどが提案されているが、これらはいずれも低損失特性、低漏話特性、高速性などの光導波路スイッチの基本的な特性をすべて完全に満足させるに至っていない。また、方向性結合器型では1~2 $\mu$ mの精密加工技術が必要であり、さらにまた、長さが長く、光導波路間の分離距離が得られない等の欠点があり、また、光の偏向を用いたものでは、複雑な構造を有する電極が必要であり、また、大きな分離角が得られないなどの欠点があった。このため、光スイッチのマトリックス数が多くなると素子長さが数cm以上となり、伝送損失の増大をまねくという本質的な欠点があった。

ここでは、特に本発明と関係の深い光偏光型光スイッチの問題点について図面を用いてさらに詳しく説明する(この種の光スイッチについては、特開昭54-7951号公報参照)。

第1図は光偏光型光スイッチ(別名、光反射型とも呼ばれている。)を示す平面図、第2図は第1図のII-II断面の一部を示す図である。1はニ

オブ酸リチウム( $\text{LiNbO}_3$ )等の電気光学効果を有する結晶基板、2-1、2-2、3-1、3-2は結晶基板1の表面に形成された光導波路で、基板結晶1の表面からTiなどの金属を拡散することにより形成される。4-1、4-2、4-3、4-4はそれぞれ交叉する二つの光導波路の交叉部、5-1、5-2、5-3、5-4は各交叉部の表面にそれぞれの長い方の対角線を挟む位置に形成された一対の電極で、図示は省略しているが、それぞれ引出線で入力端子に接続され、選択的に一対の電極間に所定値の電圧が印加されるように構成され、光導波路の各交叉部に電界を印加する電界印加用電極を構成している。

このように構成された光スイッチアレイは、例えば、光導波路2-1を図において矢印A方向に伝搬する光6を交叉部4-1で光導波路3-1を伝搬するように矢印B方向に切換えようとする場合、電界印加用電極5-1に電圧を印加し、光導波路の交叉部4-1の電極5-1で挟まれた部分で屈折率を低下させる。このようにすると光6は

屈折率が低下した部分で反射され、矢印B方向に伝搬方向が切り換えられる。

この場合、電界印加用電極5-1を構成する一対の電極5-1の極性及び印加すべき電圧は、結晶基板1の種類及び結晶軸の方向等によって相違するから適宜選択する必要がある。また、屈折率を低下させる程度は、入射する光が全反射するように電界印加用電極5-1と光導波路2-1とのなす角 $\theta$ を選定する必要がある。

基板結晶1として $\text{LiNbO}_3$ を用い、Tiを十分に拡散して光導波路を形成した場合、波長6328 $\text{\AA}$ の光に対する光導波路及び交叉部の屈折率は約2.22となる。基板結晶1の電気光学係数 $r$ は約 $30 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ であり、電気光学効果による交叉部4-1の屈折率変化 $\Delta n$ は、

$$\Delta n = \frac{1}{2} n^3 r E \quad (\text{ただし } E \text{ は電界強度})$$

で表わされるので、この場合、 $E = 5 \text{ V}/\mu\text{m}$ の電界強度で $\Delta n = 0.0005$ となる。この電界が印加された交叉部4-1の屈折率は約2.2195となり、全反射角は88.784度であるから、光導波路2-1

と電界印加用電極5-1とのなす角度 $\theta$ は1.216度以下となるように構成すればよい。すなわち、1.1度とすれば分離角( $2\theta$ )は2.2度となり、光導波路2-1と3-1とを2.2度以下で交叉するように構成すればよい。印加する電界強度を大きくすれば角度 $\theta$ も大きくなる。しかしながら、たとえ $E = 50 \text{ V}/\mu\text{m}$ のような大きな電界強度を加えても分離角( $2\theta$ )は7.7度と小さいものである。

通常、光ファイバは直径が125 $\mu\text{m}$ 程度であり光ファイバと光スイッチを結合させるには、光導波路2-1、2-2及び3-1、3-2の間隔は125 $\mu\text{m}$ 以上でなければならない。分離角( $2\theta$ )が2.2度の場合には、光スイッチ部の長さ( $L$ )は3.3mmと長くなり、光スイッチアレイの数が多くなると、光集積化が困難になる。このように反射型は光スイッチの動作電圧が高い上に、光スイッチの全長が非常に長くなるという欠点がある。これは、 $\text{LiNbO}_3$ の電気光学係数が小さいことによる。

この解決方法として、電気光学効果の大きな

例えばSBN ( $\text{Sr}-\text{Ba}-\text{Nb}-\text{O}$ )のような材料の単結晶を用いることが考えられる。しかし、これらの結晶は電場と光の相乗効果による光ダメージで、光導波路中に光散乱中心が生じる可能性があり、非常に不安定である。

#### 〔発明の目的〕

本発明の目的は、上述の従来技術の欠点を除去した、小型、低分散で分離能力がすぐれ、かつ高集積化が可能な光スイッチ及びそのアレイを提供することにある。

#### 〔発明の概要〕

媒質の屈折率を変化させるには、通常、上述の電気光学効果を用いているが、それ以外にGaAsやInP系のIII-V族化合物半導体の吸収端の移動によっても屈折率を変化させることができる。半導体レーザの励起のレベルが零バイアスからしきい値バイアスまで高くなった時には、レーザ発振値における吸収は光導波路損失が無視出来るくらいに充分な利得の状態(吸収係数が負)に変化する。この利得変化の最も大きな所は、レーザ発

振値より少し高いエネルギーで生じる。しかしながら、注入されたキャリアの増加による利得変化は利得自身が正の値(すなわち増幅状態)になったのではなく、光吸収損失が吸収端の移動によって小さくなったために生じるのである。すなわち、利得変化は屈折率の虚数部が減少するために生じるのである。誘電率の実数部、虚数部は、クラマース-クロネック(Kramers-Kronig)の関係式で関係づけられるため、この利得変化は屈折率の実数部をも必然的に変化させる。

数値例を示すために、GaAs活性層をもつ埋込みヘテロ構造半導体レーザにおける屈折率の実数部変化のスペクトラムを第3図に示す。これからわかるように、屈折率の変化の大きい所はレーザ発振値よりもわずかに大きな光子エネルギーの所で生じている。第3図における2つの曲線1、2は半導体レーザに電流を加えた時に注入されるキャリア密度がそれぞれ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である場合を示す。第3図からわかるように、通常レーザ発振する注入キャリア密度

$1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上では、屈折率の変化量は、レーザ発振の光子エネルギーの近傍では絶対値で±0.03以上にも達する。この0.03という屈折率差は第1図に示したような全反射型光スイッチでは2つの光導波路2-1と3-1との分離角( $2\theta$ )が15.2度と驚異的に増大する。また、屈折率差のプラスとマイナスを有効に利用すれば(すなわち屈折率差0.06を利用すれば)、分離角( $2\theta$ )は21.6度と更に大きくなる。この分離角は注入キャリア密度を増せば増加するものである。

しかしながら、この領域の光吸収損失は大きいことは言うまでもない。第4図にその吸収係数のスペクトラムを示す。曲線1及び2はそれぞれ注入キャリア密度が $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 及び $0.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の場合のものである。レーザ発振値近傍では約 $2 \times 10^2 \text{ cm}^{-1}$ の吸収係数をもっている。これは光伝送損失で869 dB/cmに相当する。光の伝送損失を0.5 dB/cm以下におさえるには、この領域の長さを5  $\mu\text{m}$ 以下にする必要がある。第1図に示したような光スイッチでは光の伝送損失を出

来るだけ小さくすることが望ましい。すなわち、全反射部、例えば第1図の光導波路の交叉部4-1における一対の電極5-1下の全反射部厚み(第2図に示したd)を5  $\mu\text{m}$ 程度にすれば、以上の説明より分離角( $2\theta$ )が大きくなり、しかも低損失な光スイッチが構成できる。分離角から光スイッチ部の長さは、 $10 \times 10$ 素子数の場合でも1 mm以下となる。また、分離角が大きいと、単一モードスイッチのみならず、多モードスイッチとしても使用できる特徴をもつ。この場合言うまでもなく、全反射部以外は低損失な光導波路、例えば $10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 程度のキャリア密度をもつGaAs高抵抗層で構成する必要がある。

以上は全反射部をGaAs活性層で形成した場合について説明したが、GaAs-AlGaAsといった超格子で形成した場合には更にこの現象が顕著にあらわれる。

第5図は、一例としてAlGaAs障壁層の厚みを93 Å、GaAs井戸層の厚みを83 Åとして積層した超格子における屈折率の光子エネルギースペクト

ラムを示したものである。第5図からわかるように、光子エネルギーが1.5 eV近辺で概0.2 eVの大きな分散カーブを示している。これは光の波長では0.83  $\mu\text{m}$ 近辺で0.06  $\mu\text{m}$ の幅をもつことに相当する。このような分散をもつ超格子にキャリアを注入していくと、分散カーブは平坦になろうとして、第3図に示したものと同様に屈折率の変化が生じる。超格子構造の場合は、GaAs単層の場合にくらべ、約30倍程度分散が大きいため屈折率の変化も1桁以上、すなわち±0.3が期待できる。この場合には、第1図に示した交叉する2本の光導波路の分離角(2 $\theta$ )は約45度となり、光スイッチ長(L)は完全に1mm以下と小さく、より高密度な光集積化が可能になる。また、超格子構造の場合には、第6図に示すように吸収係数はレーザー共振値で急激に減少している。光伝送損失にすると約400 dB/cmとなり、GaAs単層の場合にくらべ、損失は半分以下である。このため、全反射部の厚さも10mm程度と大きくとれるという利点がある。

以上説明したように、全反射を生じさせる領域にキャリア注入による屈折率変化を生じる半導体媒質を用いることにより、小型、高性能な光スイッチを構成することができる。

なお、以上の説明ではGaAs系の半導体についてのみ説明したが、InP、InGaAsP、GaSb、GaAlAsSb等のIII-V族化合物半導体についても全く同様であり、さらに、CdS、CdSe、ZnS、ZnSe等のII-VI族化合物半導体も同様に用いることができる。

また、本発明の光スイッチの特徴としては、半導体レーザと同様な構成のため、半導体レーザと一体化して外部変調器として使用できること、従来の光スイッチはほとんど単一モードスイッチでしか動作しないのに対して、例えば超格子構造を用いた場合には光導波路の分離角(2 $\theta$ )を45度にしないう、20度程度にしておくで多モードスイッチとしても働くという大きな特徴をもっている。

なお、以上の場合の説明には全反射型光スイッチを用いたが、ブラッグ回折を用いられるように

電極を光導波路の交叉部にある最適の間隔で配置した構成にすれば全反射でなく、ブラッグ回折が得られ、光導波路の分離角は更に大きくなる。

#### 〔発明の実施例〕

以下、本発明を実施例により詳細に説明する。

第7図は本発明の光スイッチの製造工程の概略説明図で、図(a)は断面図、図(b)は上面図、図(c)、(d)は図(b)のIII-III断面で示した部分工程図、図(e)は上面図、図(f)は図(e)の斜視図である。

基板21にはSnドープの(100) InP基板を用いた。基板21上に分子線エピタキシャル法(MBE法)により、InGaAsP層、InP層の順に積層した超格子構造の層22を厚み1.5  $\mu\text{m}$ に成長させた。この超格子層22のバンドギャップは光の波長1.25  $\mu\text{m}$ に相当する組成を用いている。つぎに、超格子層22の上に液相成長法(LPE法)により、厚み約2  $\mu\text{m}$ 程度のInPクラッド層23、さらにその上に例えばAu-Cr合金からなる電極用金膜層24を厚み約0.3  $\mu\text{m}$ に形成し、積層基板20を作

る(図(a))。

つぎに、本発明では電極と共に全反射部を形成する。第1図では電極5-1~5-4は光導波路2-1、2-2と3-1、3-2の交叉部4-1~4-4に一对の電極として存在していたが、本発明では、図(b)に示したように、積層基板20に後の工程で設けるべき、点線で囲まれた光導波路25-1、25-2と26-1、26-2の交叉部27-1~27-4の長い方の対角線上に一方の一本のストライプ電極をその下の全反射部とともに設け、他方の電極(例えばAu-Cr合金からなる)を積層基板20の表面全面に共通電極として設けるようにしたものである。そこで、金膜層24上の、ここで形成すべき前記ストライプ電極に対応する位置に電極パターンと同形のホトレジストパターン28を形成する。

ついで、図(c)に示すように、ホトレジストパターン28の周囲の不要部分をInP基板21に達するまで除去し、ホトレジストパターン28の下に長さ30  $\mu\text{m}$ 、幅4  $\mu\text{m}$ のストライプ電極24-1~

24-4を形成すると同時にこれらの電極下にストライプ状のInP層23、超格子層22を設す。

つぎに、図(d)に示すように、電極24-1~24-4の周囲に露出しているInP基板21上に、LPE法により、厚み1 $\mu$ mのInGaAsP層29、その上に厚み2.5 $\mu$ mのInP層30を成長させる。この場合、InGaAsP層29及びInP層30のキャリア密度は $10^{15}$  cm $^{-3}$ 程度で、光の伝送損失は2 dB/cm以下である。

その後、図(e)、(f)に示すように、ストライプ電極24-1~24-4の周囲の、先に図(b)に点線で囲んで示した光導波路24-1~24-4を幅5 $\mu$ m、高さ3 $\mu$ mのリッジ型に、InGaAsP層29を厚さ0.5 $\mu$ mだけ残して、InP層30及びInGaAsP層29をイオンミリング法により除去して光導波路24-1~24-4を形成すれば本発明の光スイッチが得られる。この時の光導波路の分離角( $2\theta$ )は15度、光導波路間の間隔は125 $\mu$ mとした。

以上のようにして作製した長さ1.6mmの4 $\times$ 4

光スイッチに波長1.3 $\mu$ mの半導体レーザ光を入射した所、光導波路は単一モードではなく、多モード導波路であることがわかった。超格子層に電流を約23mA流した時の光スイッチの消光比は-30 dB以下と小さく、光伝送損失も2 dB以下と良好であった。

#### 〔発明の効果〕

以上説明したように、本発明によれば、電流を印加するだけで屈折率を大きく変えることができるため、簡単な構成で、かつ、多モードの光切換にも適用できる高集積化可能な光スイッチアレイとすることができるので、実用上大きな効果が得られる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は従来の全反射型光スイッチアレイの一部を示す平面図、第2図は第1図のI-I断面の一部を示す図、第3図、第4図はそれぞれGaAs埋込みヘテロ構造半導体レーザにおける屈折率変化と吸収係数のスペクトルを示す図、第5図、第6図はそれぞれGaAs-AlGaAs超格子

構造のレーザにおける屈折率と吸収係数のスペクトルを示す図、第7図は本発明の光スイッチの一実施例の製造工程説明図である。

図において、

- |                            |               |
|----------------------------|---------------|
| 1...電気光学効果を示す結晶基板          |               |
| 2-1、2-2、3-1、3-2...光導波路     |               |
| 4-1~4-4...光導波路の交叉部         |               |
| 5-1~5-4...電極               | 6...光         |
| 20...積層基板                  | 21...InP基板    |
| 22...超格子層                  | 23...InPクラッド層 |
| 24...金属層                   |               |
| 24-1~24-4...電極             |               |
| 25-1、25-2、26-1、26-2...光導波路 |               |
| 27-1~27-4...光導波路の交叉部       |               |
| 28...ホトレジストパターン            |               |
| 29...InGaAsP層              | 30...InP層     |

代理人弁理士 中村純之助

図 1

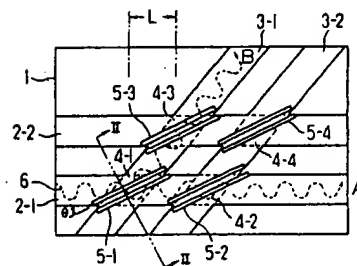


図 2

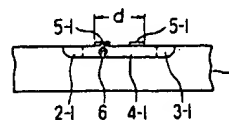


図 3

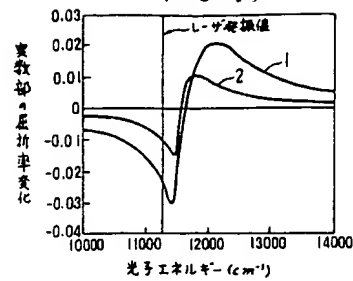


図 4

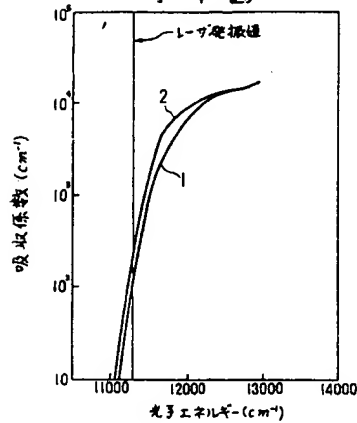


図 5

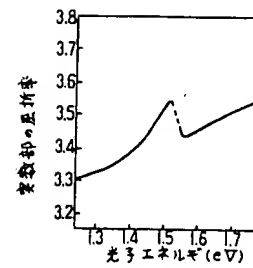


図 6

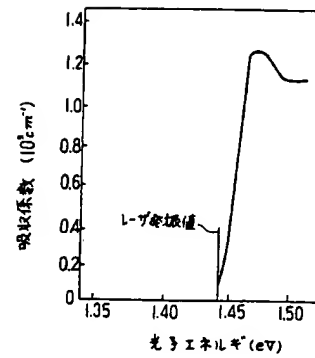
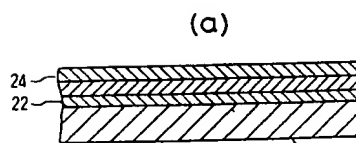
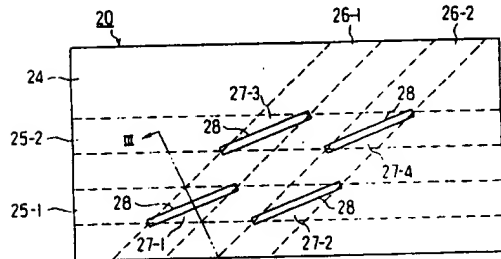


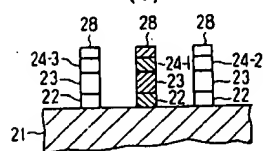
図 7 (a)



(b)



(c)



(d)

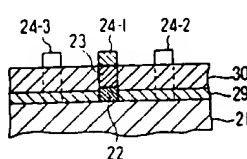
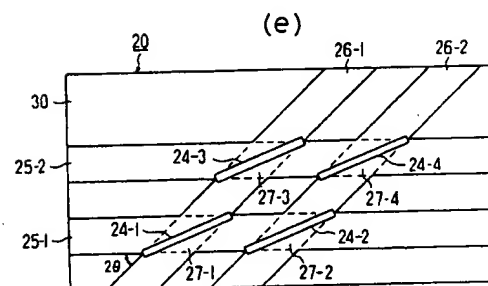
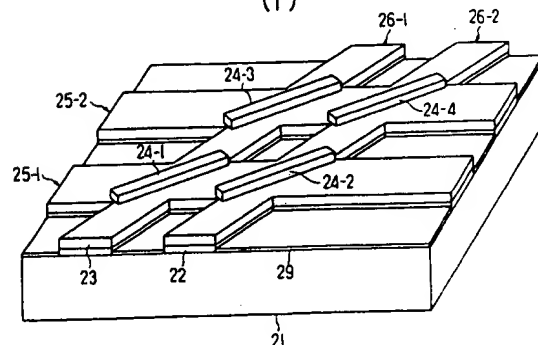


図 7 (e)



(f)



12

# EUROPEAN PATENT APPLICATION

21 Application number: 84308977.2

51 Int. Cl.<sup>4</sup>: G 02 F 1/31

22 Date of filing: 20.12.84

30 Priority: 23.12.83 JP 242049/83

43 Date of publication of application:  
03.07.85 Bulletin 85/27

84 Designated Contracting States:  
DE FR GB NL

71 Applicant: HITACHI, LTD.  
6, Kanda Surugadai 4-chome Chiyoda-ku  
Tokyo 100(JP)

72 Inventor: Hiroyoshi, Matsumura  
264-61, Kubo Hidaka-machi  
Iruma-gun Saitama-ken(JP)

72 Inventor: Chinone, Naoki  
1-47-3, Akatsuki-cho  
Hachioji-shi Tokyo(JP)

72 Inventor: Ishida, Koji  
3-17-15-703, Naka-machi  
Musashino-shi Tokyo(JP)

74 Representative: Calderbank, Thomas Roger et al,  
MEWBURN ELLIS & CO. 2/3 Cursitor Street  
London EC4A 1BQ(GB)

54 Optical switch.

57 An optical switch has waveguides (25-1, 25-2, 25-3, 25-4) on a semiconductor substrate (21). The waveguides intersect at rhomboidal regions (27-1, 27-2, 27-3, 27-4) and stripe layers (22, 23) are formed along the longer diagonal of the rhomboidal regions. The carrier concentration of these stripe layers (22, 23) may be changed, by applying an appropriate voltage to electrodes (24-1, 24-2, 24-3, 24-4, 31) and this causes a change in the refraction index of the stripe layers (22, 23) and so causes reflection of light propagating in one waveguide into another waveguide. The substrate (21), the waveguides (25-1, 25-2, 25-3, 25-4), and the stripe layers (22, 23) are each a compound semiconductor of the same semiconductor system, and the band gap of the stripe layers (22, 23) is equal or close to the wavelength of the light to be switched. Such an arrangement permits a relatively large angle between the intersecting waveguides (25-1, 25-2, 25-3, 25-4) and so permits the optical switch to be small.

